CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
GÖTEBORGS UNIVERSITET

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
GÖTEBORG
SWEDEN

UNIVERSITY OF GOTHENBURG

INSTITUTIONEN FÖR BIOKEMI
OCH
SVENSKA INSTITUTET FÖR KONSERVERINGSFORSKNING (SIK)

HYDROPEROXIDER OCH FLYKTIGA FÖRENINGAR FRÅN LIPOXYGENASKATALYSERAD OXIDATION AV LINOLSYRA

KARIN LEU

1973

HYDROPEROXIDER OCH FLYKTIGA FÖRENINGAR FRÅN LIPOXYGENASKATALYSERAD OXIDATION AV LINOLSYRA

av

Karin Leu

Akademisk avhandling

som med tillstånd av sektionen för kemi vid Göteborgs Universitet framlägges till offentlig granskning för avläggande av filosofie doktorsexamen i kemi den 28 september 1973 kl. 10.15 i sal KD, institutionsbyggnaden för kemi vid Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Avhandlingen försvaras på svenska.

Göteborg, 1973.

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Denna avhandling är en sammanfattning av följande arbeten, vilka refereras i texten med romerska siffror enligt följande:

I. Leu, K. och Andersson, J.,
Gas chromatographic analysis of trimethylsilyl ethers of methyl hydroxystearate.
Accepterad för publicering i Lebensm.-Wiss. u. Technol.

II. Leu, K.,
Formation of isomeric hydroperoxides from linoleic acid by lipoxygenase.
Accepterad för publicering i Lebensm.-Wiss. u. Technol.

III. Leu, K.,
Analysis of volatile compounds produced in linoleic acid oxidation catalyzed by lipoxygenase from peas, soy beans, and corn germs.
Accepterad för publicering i Lebensm.-Wiss. u. Technol.

FÖRORD

Detta arbete har utförts vid Sektionen för Biokemi vid Svenska Institutet för Konserveringsforskning, Göteborg, under åren 1968-1972. Till dem som hjälpt mig att genomföra det framför jag mitt varma tack.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544711_0017

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sid.
Abstract	5
Sammanfattning	6
1. INLEDNING	8
2. MÅLSÄTTNING OCH OMFATTNING	10
3. RESULTAT OCH DISKUSSION	10
3.1. Analys av metylhydroxystearaters trimetylsilyletrar (I).	10
3.2. Bildning av isomera linolsyra-hydroperoxider med lipoxygenas (II).	11
3.3. Flyktiga föreningar bildade vid linolsyraoxidationer katalyserade av lipoxygenas från ärter, soja-bönor och majs (III).	13
4. LITTERATURREFERENSER	16
5. BILAGOR	17

HYDROPEROXIDES AND VOLATILE COMPOUNDS FROM LIPOXYGENASE CATALYZED LINOLEIC ACID OXIDATION

Karin Leu

Swedish Institute for Food Preservation Research (SIK), Fack, S-400 21 Göteborg 16, Sweden

ABSTRACT

An investigation has been made of the two isomeric 9- and 13-hydroperoxy linoleic acids and some volatile compounds obtained from oxygenation of linoleic acid by lipoxygenase.

A new method was developed where the hydroperoxides, unstable at temperatures necessary for analyses by gaschromatography, were converted into stable trimethylsilyl ethers of methyl hydroxystearate which were then completely separated on an OV-17 open tubular column.

A correction factor for quantitative analysis was determined for the trimethylsilyl derivatives using methyl palmitate as internal standard.

The silylation yield was found to be 96.5%.

The gaschromatographic procedure was used to analyse the ratios of the isomeric hydroperoxides obtained from oxygenation of linoleic acid by soybean- and pea lipoxygenase. With soybean lipoxygenase the ratios varied according to environmental conditions. At 100% O_2, pH 9, and $0^{o}C$ the ratio was 95:5, the bigger part was 13-hydroperoxy linoleic acid. 1% O_2, pH 6.8, and $40^{o}C$ gave equal amounts of the isomers. Purified pea lipoxygenase, on the other hand, gave equal amounts of the two isomers at all conditions used.

The volatile compounds were analyzed by a combination of low temperature distillation, pre-column concentration, and gaschromatography - mass spectrometry. The oxygenation was catalyzed by lipoxygenase from peas, soybeans, or corn germs.

The homologous aldehydes, n-heptanal, n-hexanal, n-pentanal, n-butanal, n-propanal, and ethanal were dominant. 2-n-pentyl furan and n-hept-trans-2-enal were formed in high yields. Three hydrocarbons were detected, namely n-butane, n-pentane, and n-pent-1-ene.

Some theories about the formation of volatile compounds from lipids are briefly discussed.

HYDROPEROXIDER OCH FLYKTIGA FÖRENINGAR FRÅN LIPOXYGENASKATALYSERAD OXIDATION AV LINOLSYRA

Karin Leu

Svenska Institutet för Konserveringsforskning (SIK),
Fack, 400 21 Göteborg 16

SAMMANFATTNING

De båda isomererna 9- och 13-hydroperoxylinolsyra och några flyktiga föreningar bildade vid lipoxygenaskatalyserad oxidation av linolsyra har undersökts.

En ny metod har utvecklats, där hydroperoxiderna, instabila vid de för analys med gaskromatograf nödvändiga temperaturerna, överfördes till stabila trimetylsilyletrar av metylhydroxystearat, varefter de fullständigt separerades på en kapillärkolonn med silikonoljan OV-17 som stationär fas.

Vid kvantitativa jämförelser mellan trimetylsilyletrarna och metylpalmitat, som tjänade som inre standard, måste en korrektionsfaktor användas.

Utbytet av silyleringsreaktionen beräknades till 96.5%.

Metoden har använts för att analysera förhållandet mellan de isomera hydroperoxiderna, som bildas när lipoxygenas ur sojabönor eller ärter katalyserat oxidationen av linolsyra vid varierade miljöbetingelser. Med lipoxygenas ur sojabönor var förhållandet vid 100% O_2, pH 9 och $0^{\circ}C$ 95:5, varav den större mängden utgjordes av 13-hydroperoxylinolsyra. 1% O_2, pH 6.8 och $40^{\circ}C$ gav isomererna i lika mängder. Lipoxygenas ur ärter gav isomererna i förhållandet 50:50 vid de undersökta miljöförhållandena.

De flyktiga föreningarna koncentrerades med lågtemperaturdestillation och "precolumn concentration"-teknik samt analyserades med kombinerad gaskromatograf-masspektrometer. Oxidationen katalyserades med lipoxygenas från ärter, sojabönor eller majs.

Den homologa serien aldehyder, n-heptanal, n-hexanal, n-pentanal, n-butanal, n-propanal och etanal dominerade. 2-n-pentylfuran och n-hept-trans-2-enal bildades i stora mängder. Tre kolväten identifierades, nämligen n-butan, n-pentan och n-pent-1-en.

Några teorier för de flyktiga föreningarnas bildning har i korthet diskuterats.

1. INLEDNING

När linolsyra oxideras bildas via radikalinitierade kedjereaktioner två isomera linolsyrahydroperoxider, 9[1]- och 13-LAHPO[2], (1, 2), flyktiga föreningar som kortkedjiga aldehyder, hydroxy-, epoxy- och ketoföreningar, polymerer m.fl.

Enzymet lipoxygenas (E.C.1.13.1.13.) katalyserar oxidationen av cis, cis-1,4-pentadiensystemet i linolsyra med molekylärt syre till optiskt aktiva hydroperoxider med ett cis, trans-konjugerat diensystem (3, 4, 5). Lipoxygenas finns i bl.a. sojabönor, majs, ärter, linfrö och potatis. Beroende på enzymets ursprung bildas hydroperoxiderna vid oxidationen i olika proportioner. Deras pH-optima varierar från 9 till 5.5, vanligast är optima omkring 6.5. Kemin för och egenskaperna hos enzymets aktiva centrum är ännu okända.

Sojalipoxygenas indelas i minst tre isoenzymer, lipoxygenas-1 med pH-optimum 9.5, som favoriserar bildning av 13-LAHPO, lipoxygenas-2 med pH-optimum 6.5, som ger 9-LAHPO:13-LAHPO i förhållanden omkring 50:50, samt lipoxygenas-3 med bred aktivitetsprofil i området pH 4.5-9.0 och ännu okänd specificitet med avseende på hydroperoxidbildningen. Proportionerna mellan 9-LAHPO och 13-LAHPO varierar med temperatur, pH och syrgastryck (6). Ca^{2+} stimulerar aktiviteten hos lipoxygenas-2 men inhiberar lipoxygenas-3 (7,8).

Under anaeroba förhållanden katalyserar sojalipoxygenas i närvaro av linolsyra bildningen av 13-oxo-tridecadiensyra och pentan samt 13-oxo-octadecadiensyra ur 13-LAHPO. Någon motsvarande reaktion för 9-LAHPO har inte kunnat påvisas (9).

---

1) 9-hydroperoxy-10, 12-octadecadiensyra

2) 13-hydroperoxy-9, 11-octadecadiensyra

Enzymet hydroperoxidisomeras finns i sojabönor och kontaminerar ofta sojalipoxygenaspreparationer. Mer undersökta är isomeraser ur majs (10) och linfrö (11, 12). Hydroperoxidisomeras ur majs katalyserar bildningen av α- och γ-ketoler ur såväl 9- som 13-LAHPO, medan hydroperoxidisomeras ur lin endast använder 13-LAHPO som substrat. Dessa reaktioner fortgår under såväl aeroba som anaeroba förhållanden.

När linolsyra oxideras bildas först alkylradikaler, som reagerar med syre till alkylperoxyradikaler. Dessa överförs till alkoxyradikaler, antingen genom att reagera med en väteatom och bilda en hydroperoxid, som sönderdelas till alkoxy- och hydroxyradikaler eller genom att reagera med varandra till alkoxyradikaler och syre, eller med en alkylradikal till en dialkylperoxid, som sönderdelas till två alkoxyradikaler. Den sista vägen är möjlig endast vid mycket låga syrekoncentrationer. Hydroperoxiderna kan regenerera till alkylperoxyradikaler (13).

Alkoxyradikaler kan vid lipoxygenaskatalyserad oxidation också bildas genom att hydroperoxider reagerar med luftens syre till tetroxider, som avspaltar "singlet oxygen" (14).

Alkoxyradikalerna är de närmaste precursorerna till de flyktiga oxidationsprodukterna. Genom sönderdelning av alkoxyradikalerna eller attack av en fri radikal bildas aldehyder eller ketoner. Alkoholer bildas genom alkoxyradikalens reaktion med en väteatom och etrar genom association med en alkylradikal (13).

2. MÅLSÄTTNING OCH OMFATTNING

Föreliggande arbetes målsättning har varit att undersöka inflytandet av syrgastryck, pH, temperatur och enzymkälla på bildningen av 9- och 13-LAHPO, samt flyktiga föreningar från lipoxygenaskatalyserad oxidation av linolsyraemulsion, för att studera å ena sidan miljöns inflytande på enzymet och oxidationsprodukterna och å andra sidan ett eventuellt samband mellan bildningen av hydroperoxiderna och de flyktiga föreningarna.

Arbetet har omfattat:

Utvecklingen av en gaskromatografisk metod lämpad för rutinmässiga analyser av 9-LAHPO och 13-LAHPO (I), analyser av dessa hydroperoxider vid olika kombinationer av pH, temperatur och syrgastryck och med lipoxygenas från sojabönor eller ärter (II), en undersökning av inflytandet av lipoxygenas från sojabönor, ärter och majs samt av lågt och högt syrgastryck på bildningen av flyktiga föreningar ur linolsyra (III).

3. RESULTAT OCH DISKUSSION

3.1. Analys av metylhydroxystearaters trimetylsilyletrar(I)

9- och 13-LAHPO överfördes före analys till de mera stabila trimetylsilyletrarna av 9- och 13-metylhydroxystearat. De undersöktes därefter med kombinerad gaskromatograf-masspektrometer. Genom att avsätta topphöjden av respektive isomers huvudmasstal mot tiden erhölls ett kromatogram för vardera isomeren. Därvid kunde en begynnande separation iakttas, när silikonoljan SE-30 byttes mot OV-17 som stationär fas i packade kolonner. Fullständig gaskromatografisk separation kunde utföras på en kapillärkolonn med OV-17.

Utbytet av silyleringsreaktionen bestämdes med hjälp av ren Me-12-OH och stearinsyra, varvid befanns att 96.5% av den sammanlagda ytan av de två i kromatogrammet

synliga topparna utgjordes av Me-12-OTMS. Den andra, 3,5%, utgjordes av TMS-12-OTMS enligt kontroll med masspektrometer. Varken Me-12-OH eller TMS-12-OH kunde spåras. Metylstearat omestrifierades till 4%.

Vid kvantitativa jämförelser mellan TMS-etrarna och metylstearat användes en korrektionsfaktor f:

$$f = \frac{(\text{toppyta TMS-derivat}) \cdot (\text{vikt metylstearat})}{(\text{vikt TMS-derivat}) \cdot (\text{toppyta metylstearat})}$$

Denna bestämdes till 0,77 $\pm$ 0,01 (S.D.).

En känd mängd metylpalmitat tillsattes vid syntes-kedjans början och en likaledes känd mängd methylheptadecanoat vid dess slut, varvid det totala utbytet kunde beräknas till 21,2% $\pm$ 5,6 (S.D.), vilket är acceptabelt mot bakgrund av synteskedjans många moment. Korrektionsfaktorn för metylheptadecanoat mot metylpalmitat var 1,0. Det är sannolikt att de båda hydroperoxiderna uppträder lika genom reaktionskedjan och således bibehåller sina proportioner.

Metoden har använts i en serie försök redovisade under 3.2. Resultaten har varit reproducerbara och visar god överensstämmelse med resultat erhållna med andra separationstekniker.

3.2. Bildning av isomera linolsyrahydroperoxider med lipoxygenas (II).

Ur tabellerna 1 och 2 framgår följande:

När lipoxygenas från sojabönor katalyserar oxidationen av linolsyra, bidrar högt syrgastryck, 100% och 21%

TMS- = trimetylsilyl-
Me- = metyl-
-OH = -hydroxystearat
-OTMS = -trimetylsilyleter av hydroxystearat

av totala trycket 1 atm, och låg temperatur, 0°C, vid pH 9 och pH 6,8 till att 50-60% av linolsyran oxideras till 9- och 13-LAHPO, varav merparten utgöres av 13-LAHPO.

Vid 25°C och 40°C men i övrigt samma betingelser som ovan oxideras 20-30% av linolsyran till 9- och 13-LAHPO. Minskad mängd 13-LAHPO och ökad 9-LAHPO vid höjda temperaturer ger vikande dominans av 13-LAHPO, tydligast markerad vid pH 6,8, 40°C där 9-LAHPO:13-LAHPO är 50:50.

Lågt syrgastryck, 1% i gasfasen, ger lågt utbyte av hydroperoxiderna vid pH 9 och samtliga använda temperaturer, medan utbytena vid pH 6,8 är högre och jämförbara med motsvarande för 100% syre utom vid 0°C, där utbytet av 13-LAHPO är lägre. Större mängd linolsyra har oxiderats vid 100% O_2 än vid 1% O_2.

Vid högt utbyte av hydroperoxider gynnas 13-LAHPO, medan lågt utbyte resulterar i ungefär lika mängd av 9- och 13-LAHPO. Högst utbyte fås vid obegränsad syretillförsel, låg temperatur och pH 9.

Mängden oreagerad linolsyra stiger med temperaturen utom vid pH 9, 1% O_2 och 25°C. Enzymet inaktiveras vanligen snabbt vid de högre temperaturerna. Avvikelsen har inte med säkerhet kunnat förklaras.

Det lägre utbytet av LAHPO efter 25 timmars inkubering än efter 5 timmars inkubering, tabell 3, kan vara orsakad av isomerasaktivitet, men också av autoxidativ nedbrytning, som lättare påvisas, när lipoxygenasaktiviteten sjunkit eller upphört.

Anaeroba lipoxygenasreaktioner påverkar inte resultaten, då syre funnits tillgängligt i samtliga försök, om än som hastighetsbegränsande faktor.

När förhållandet mellan 9- och 13-LAHPO förskjutits mot 50:50 från dominans av 13-LAHPO har inte bara mängden 13-LAHPO minskat utan också mängden 9-LAHPO ökat. Detta tyder på minskad eller inget inflytande av ett isoenzym specifikt för bildningen av 13-LAHPO och ökat för ett isoenzym som ger isomererna i ungefär lika mängder, vilket styrks av att 9-LAHPO i dessa försök aldrig förekommer i signifikant större mängd än 13-LAHPO.

Med lipoxygenas från ärter erhölls vid pH 6,8 och 0°C 9- och 13-LAHPO i proportionerna 50:50 vid 100% och 1% syre i gasfasen. Dubbelt så stor mängd LAHPO hade accumulerats vid 1% som vid 100% syre, medan mängden övriga reaktionsprodukter var dubbelt så stor vid 100% O_2 som vid 1% O_2. Något mer linolsyra hade reagerat vid 100% O_2 än vid 1% O_2.

De extrema syrgastrycken 1% och 100% O_2 valdes för att poängtera skillnaderna mellan mängderna av 9-LAHPO och 13-LAHPO vid lågt och högt syrgastryck.

Som pH valdes optima för soja- respektive ärtlipoxygenas, vilka sammanfaller med optima för isoenzymerna lipoxygenas-1 och -2, se inledningen.

Vid 0°C är hydroperoxiderna stabila och enzymet aktivt under långa inkuberingstider, medan 40°C i olika hög grad kan antas påverka eventuella värmekänsliga isomeraser eller isoenzymer.

3.3. Flyktiga ämnen bildade vid tre linolsyraoxidationer katalyserade av lipoxygenas från respektive sojabönor, ärter och majs (III).

Linolsyraemulsionernas "headspace" koncentrerades med lågtemperaturdestillation och "pre-column concentration"-teknik samt analyserades med kombinerad gaskromatograf-masspektrometer.

I tabell 5 upptas de kortkedjiga ämnen, till övervägande del aldehyder, som identifierats. Samma flyktiga föreningar bildas oberoende av enzymets ursprung. Deras sammanlagda mängd är störst i A och minst i C beroende på olika mängder tillsatt enzym. De inbördes mängdförhållandena överensstämmer i huvudsak, medan proportionerna 9-LAHPO:13-LAHPO för försöken A, B och C var 22:78, 50:50 och 63:37.

Den dominerande produkten n-hexanal antas bildas vid klyvning av en alkoxyradikal ur 13-LAHPO liksom n-deca-2,4-dienaler vid klyvning av en alkoxyradikal ur 9-LAHPO.

n-Hexanal bildas också vid autoxidation av n-deca-2,4-dienaler, vilket omöjliggör säkra slutsatser om aldehydernas ursprung ur hydroperoxiderna eller deras radikaler genom de enkla kvantitativa beräkningar, som gjorts i dessa försök.

Bildningen av den homologa serien aldehyder, n-hexanal, n-pentanal, n-butanal, n-propanal och etanal stöder en teori om att de bildas ur varandra genom successiv avspaltning av kolkedjan (15).

Kolväten kan bildas ur alkylradikaler, som också bildas vid klyvning av alkoxyradikalerna.

2-pentyl-furan och trans-2-heptenal kan inte härledas genom enkel klyvning av linolsyrahydroperoxiderna. Den stora mängden av dem visar inflytandet av andra, mera komplexa bildningsvägar.

Reaktionsjämvikterna påverkas av miljön. Som exempel visades att vid 0 °C och 1% O_2 i gasfasen bildas få ämnen i stora kvantiteter, medan 100% O_2 ger många i små mängder.

Komplexiciteten hos det undersökta systemet har ej gjort det möjligt att på detta stadium dra några säkra slutsatser om sambandet mellan 9- och 13-LAHPO-proportionerna och bildning av flyktiga föreningar. Den sista delen av undersökningen är därför att betrakta som en studie av sådan metodik, som kan anses lämplig för fortsatta undersökningar av det nämnda sambandet.

4. LITTERATURREFERENSER

1. Farmer, E.H., Bloomfield, G.F., Sundralingam, A., och Sutton, D.A.
Trans. Faraday Soc., 38, 348(1942).

2. Farmer, E.H.
Trans. Faraday Soc., 42, 228(1946).

3. Dolev, A., Rohwedder, W.K., Mounts, T.L. och Dutton, H.J.
Lipids, 2, 33(1967).

4. Hamberg, M. och Samuelsson, B.
J. Biol. Chem., 242, 5329(1967).

5. Tappel, A.L. ur
Boyer, P.D.,Lardy, H. och Myrbäck, K.
The Enzymes, Vol. VIII, Ed. 2,
Academic Press, New York, 1963, p. 275.

6. Christopher, J.P., Pistorius, E.K., Regnier, F.E. och Axelrod, B.
Biochim, Biophys. Acta, 289, 82(1972).

7. Yamamoto, A., Yasumoto, K. och Mitsuda, H.
Agr. Biol. Chem., 34, 1169(1970).

8. Christopher, J.P., Pistorius, E.K. och Axelrod, B.
Biochim. Biophys. Acta, 284, 54(1972).

9. Garssen, G.J., Vliegenthart, J.F.G. och Boldingh, J.
Biochem. J., 122, 327(1971).

10. Gardner, H.W.
J. Lipid Res., 11, 311(1970).

11. Zimmerman, D.C. och Vick, B.A.
Plant Physiol., 46, 445(1970).

12. Veldink, G.A., Vliegenthart, J.F.G. och Boldingh, J.
Biochem. J., 120, 55(1970).

13. Bell, E.R., Raley, J.H., Rust, F.F., Seubold, F.H. och Vaughan, W.E.
Disc. Faraday Soc.,No. 10, 242(1951).

14. Smith, W.L. och Lands, W.E.M.
J. Biol. Chem., 247, 1038(1972).

15. Loury, M. och Forney, M.
Revue Française des Corps Gras, 15, 664(1968).

Tabell 1. Analysresultat pH 9.0. Sojalipoxygenas.

Syre %	100	100	100	21	1	1	1
Temperatur C	0	25	40	0	0	25	40
Stearat	3.8	18	36	4.9	71	36	60
9-OTMS	2.9	5.0	12	5.9	1.1	3.4	2.6
13-OTMS	59	18	16	43	1.6	3.4	2.6
Övriga produkter	34	59	36	46	26	57	35
Förhållandet 9:13	5:95	22:78	43:57	12:88	41:59	50:50	50:50
Medelvärde 9:13	5:95	26:74	42:58	15:85	42:58	51:49	53:47
Antal experiment	2	2	3	3	10	5	4

Tabell 2. Analysresultat pH 6.8. Sojalipoxygenas.

Syre %	100	100	100	1	1	1
Temperatur C	0	25	40	0	25	40
Stearat	7.5	33	43	44	56	51
9-OTMS	9.3	15	15	6.6	14	15
13-OTMS	45	20	15	7.3	16	14
Övriga produkter	38	32	27	42	14	20
Förhållandet 9:13	15:85	43:57	50:50	48:52	47:53	52:48
Medelvärde 9:13	20:80	41:59		49:51	49:51	52:48
Antal experiment	3	4		4	2	2

Tabell 3. Förhållandet 9-LAHPO:13-LAHPO som en funktion av tiden.

Enzym	Soja		Soja		Soja		Ärt	
Syre	100		1		100		100	
Temperatur C	0		0		0		0	
pH	9.0		9.0		6.8		6.8	
Tid, h	5	25	5	25	5	25	5	25
Stearat	4.4	3.8	75	71	39	7.5	44	41
9-OTMS	3.4	2.9	2.3	1.1	4.6	9.3	8.6	6.0
13 OTMS	64	59	4.9	1.6	23	45	7.5	5.3
Övriga produkter	28	34	18	26	33	38	41	48
Förhållandet 9:13	5:95	5:95	32:68	41:59	17:83	17:83	53:47	53:47

Tabell 4. Analysresultat pH 6.8. Ärtlipoxygenas.

Syre %	100	1
Temperatur C	0	0
Stearat	36	50
9-OTMS	6.3	12
13-OTMS	5.6	10
Övriga produkter	52	28
Förhållandet 9:13	53:47	55:45
Medelvärde 9:13	54:46	56:44
Antal experiment	2	2

Tab. 5. Flyktiga komponenter i gasfasen över linolsyra som oxiderats med hjälp av lipoxygenas ur sojabönor, ärter och majs.

Lipoxygenas	Sojaböna	Ärta	Majs
9-LAHPO/13-LAHPO	22/78	50/50	63/37
n-Butan	+	tr	tr
n-Pent-1-en	++	+	+
n-Pentan	ms	ms	-
Etanal	tr	+	++
n-Propanal	ms	ms	ms
n-Prop-1-enal	-	ms	ms
n-Butanal	+++	+	+
n-Pentanal	+++	+++	+++
n-Hexanal	+++	+++	+++
n-Heptanal	+	++	++
n-Hept-cis-2-enal	tr	tr	tr
n-Hept-trans-2-enal	+++	+++	+++
2-n-pentylfuran	+++	+	tr

\- = icke påvisbar
tr = topphöjd < 5 mm
\+ = " 5-10 mm
++ = " 10-50 mm
+++ = " > 50 mm

ms = identifierad genom masspektrometri, kvantitetsuppskattning ej möjlig